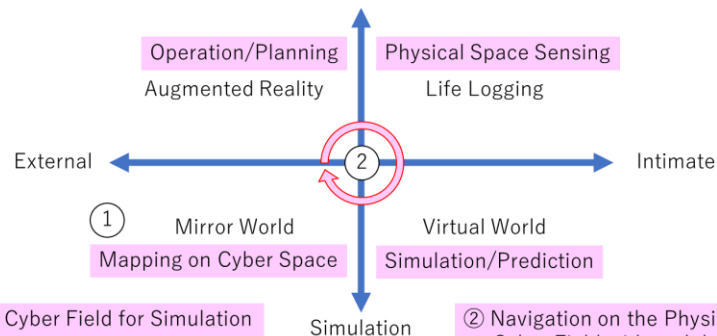
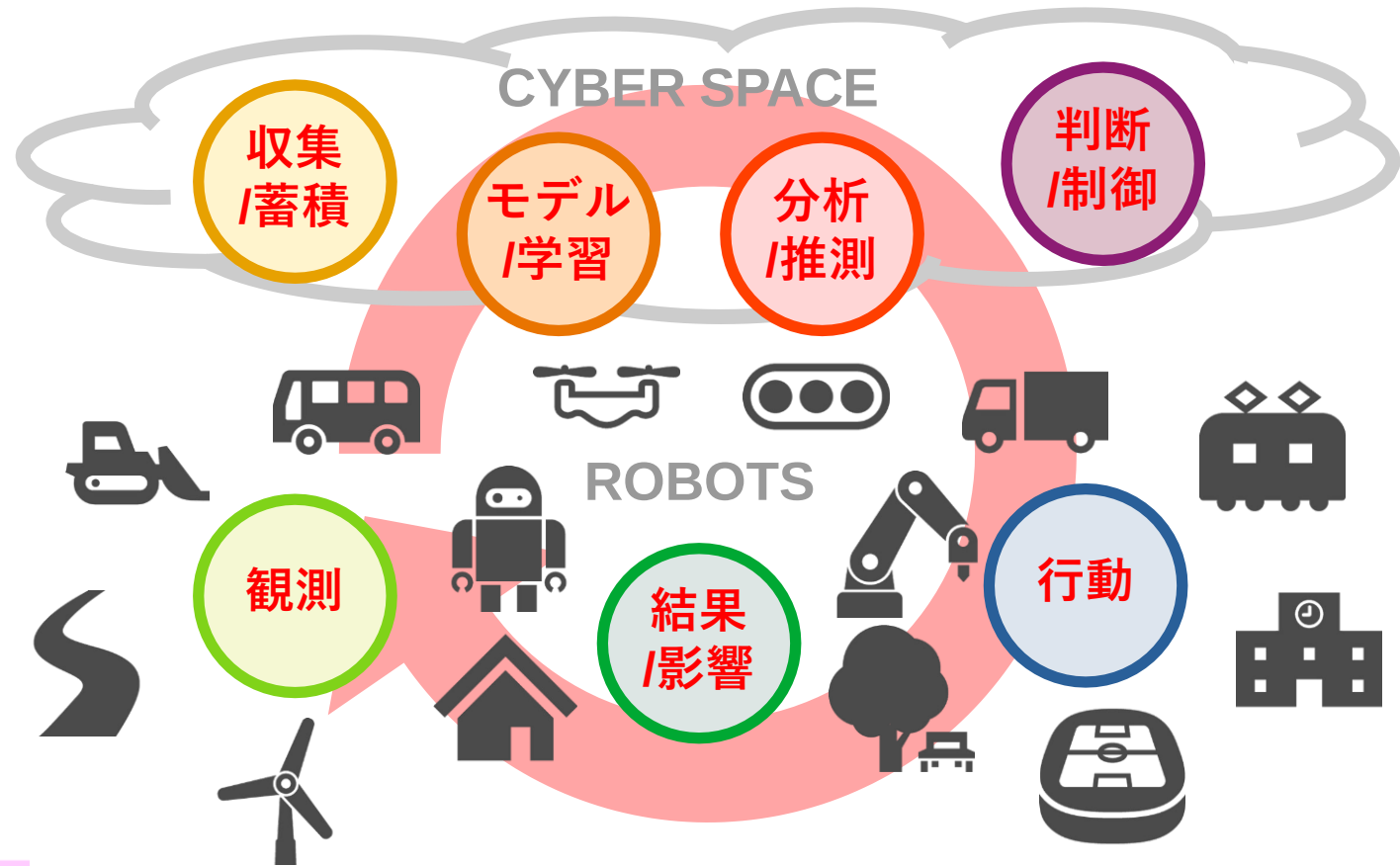


CPSの実装に向けた取り組み
Digital Garden Cityと
Advanced Air Mobility

会津大学 上級准教授
矢口勇一

Cyber Physical System

- 現実空間のロボットを Cyber空間で情報を増強しながら制御する。
 - 『見えない場所』であたかも『見えている』ように操作
 - 『行動予測』や『AI』による補完
→ Robot Metaverse



① Constructing Cyber Field for Simulation

② Navigation on the Physical Field using Cyber Field with real data

デジタル田園都市構想

出典：[「デジタルから考えるデジタル田園都市国家構想」](#)（デジタル庁）

- 岸田内閣の政策の柱
 - デジタル基盤を地方に
 - 最先端技術でSustainabilityを



- 詰まる所、地方でどのようにRobotやMetaverseを活用するかが鍵。

デジタル田園都市国家構想の目指すべきもの

- 地域の「暮らしや社会」、「教育や研究開発」、「産業や経済」をデジタル基盤の力により変革し、
- 「大都市の利便性」と「地域の豊かさ」を融合した「デジタル田園都市」を構築。
- 「心ゆたかな暮らし」(Well-being)と「持続可能な環境・社会・経済」(Sustainability)を実現。

地方の魅力をそのままに、都市に負けない利便性と可能性を

暮らしの変革 <ul style="list-style-type: none">• 子供達の未来を支える最高の教育• ヒトを惹きつける魅力的な仕事• 生涯を通じたゆとりと安心のある暮らしを実現	知の変革 <ul style="list-style-type: none">• やる気のある地域大学・高専を中核に• 地域の強みを生かした知見の集積• 地域における官民学人材の好循環	産業の変革 <ul style="list-style-type: none">• 次世代オフィス環境の実現• スマート農業・医療・防災等を実装• 地域の知と大都市を繋ぐ創業環境
--	---	--

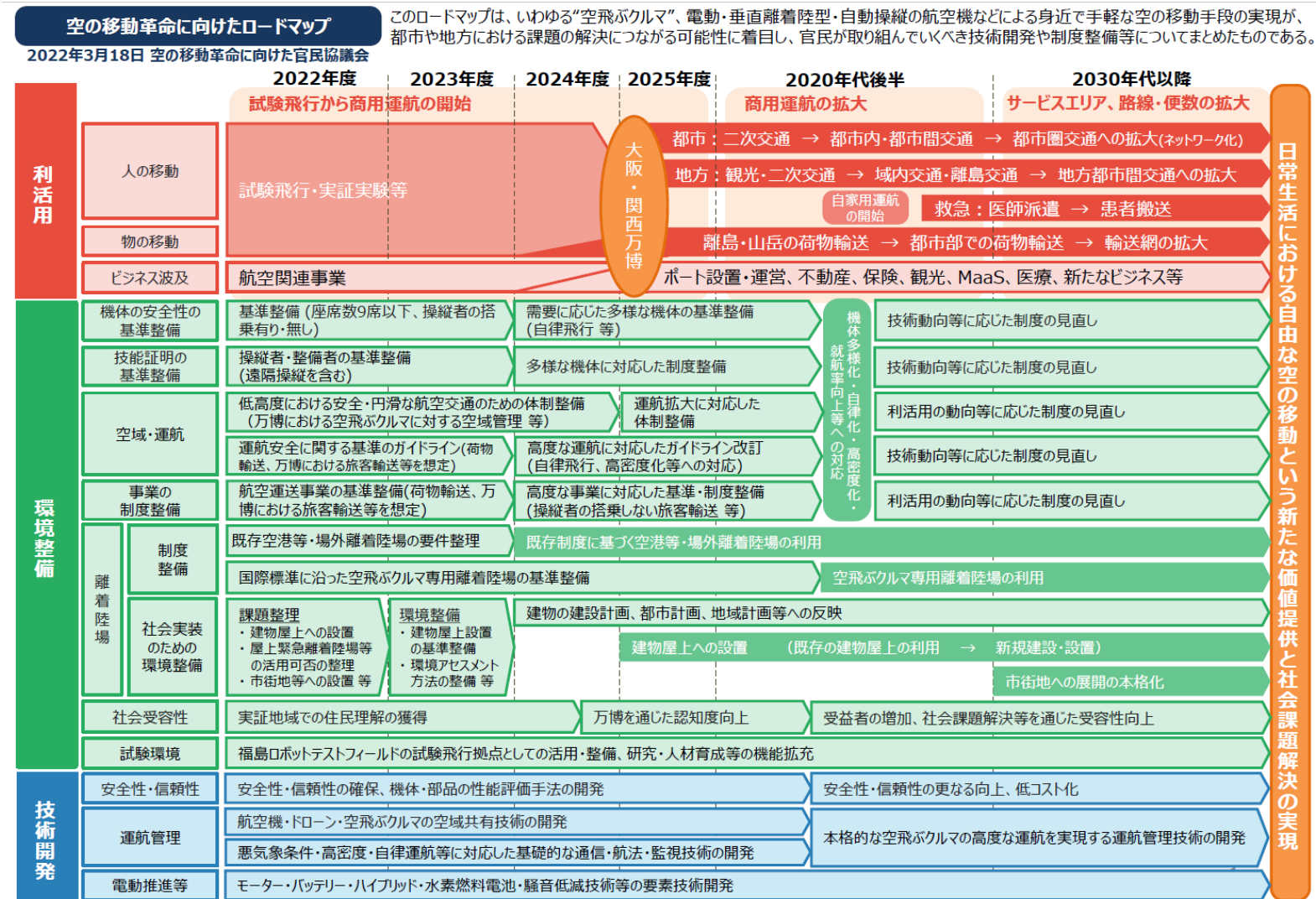


次世代空モビリティ (AAM)

出典: [経済産業省](#)

• 経済産業省策定、空の移動革命に向けたロードマップ

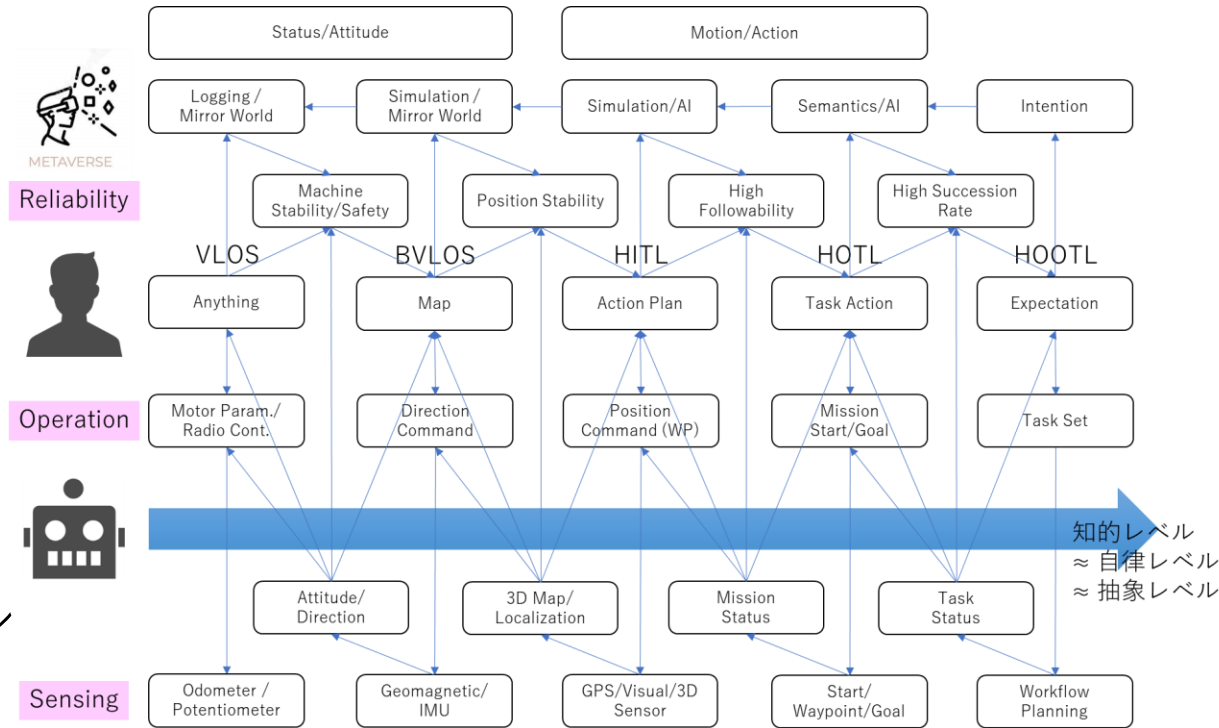
- よりOn-demandな物流・管理・交通のニーズは都会よりむしろ地方
- どうやって実装するかが鍵



CPSの実現に向けて何が問題？

- エコシステムの確立と『運用』の考察

- 必要な技術が多岐にわたる
→ それぞれ噛み合った実装が必要
- 『運用』を見据えて設計
→ 要求ベースのシステム構築
- 実空間に責任が及ぶ
→ QoSの設計とPDCAによる管理
- 知的レベルが上がれば技術が必要
 - 未踏分野への挑戦の勇気
 - 関係各所及びいろいろな人とのリエゾン

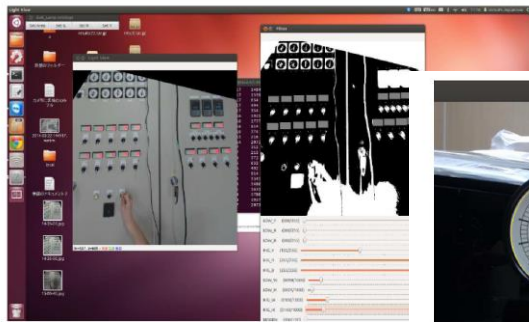
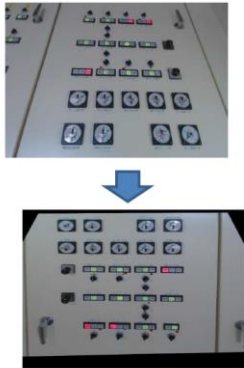


2021年度の矢口の実践

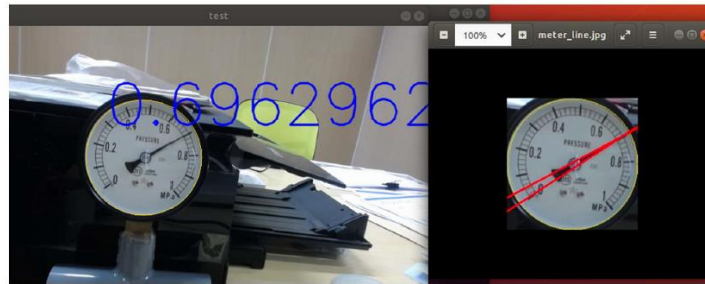
- Smart Ruralの実践
 - 既存の動力制御盤の非破壊によるIoRT化(w. アクアクルー)
- デジタル田園都市とロボット
 - 風力発電点検のドローンによる自動化、省力化(w. EAC, 福島三技協)
- 次世代空モビリティの運行管理
 - 多体ロボット運用のためのパス計画 (w. EAC, F-ETRI)
 - 分散UTM の研究(科研費)
 - UTMに関する標準化活動 (JUTM, ISO)
- 次世代空モビリティのセキュリティ (NEDO DRESS PROJECT)

Smart Ruralの実践

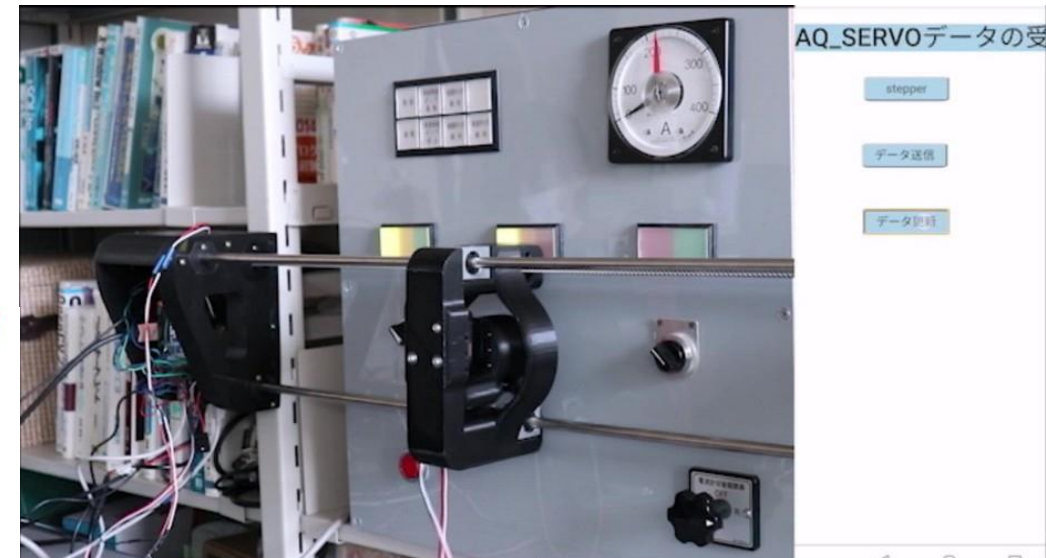
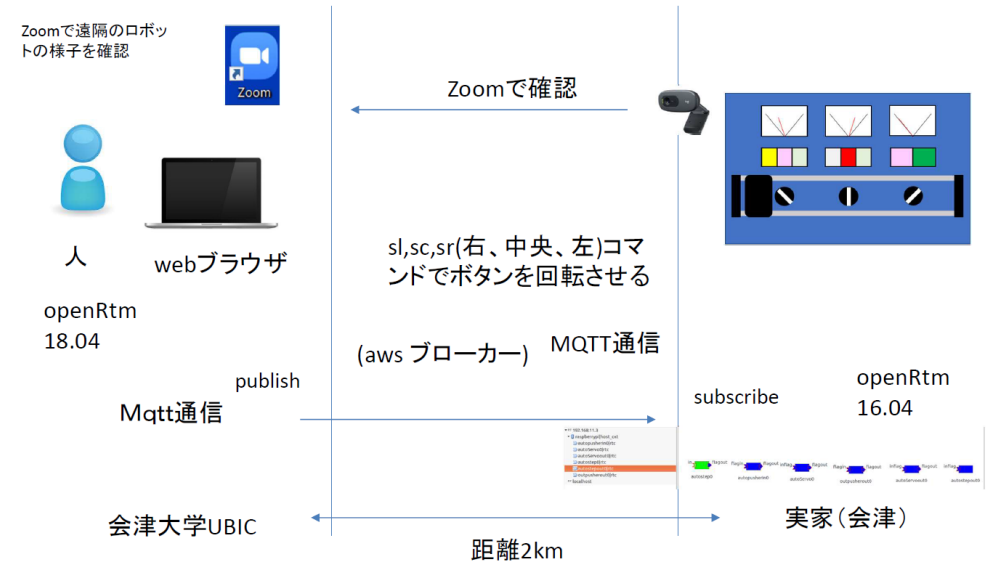
- 『既存の動力制御盤の非破壊によるIoT化』(w. アクアクルー)
 - 画像処理と実際のスイッチロボットの組み合わせ、及び2D/3Dによる実際の動力制御盤を模したWebインターフェースによるロボット制御の実装



ランプの領域の抽出・現場の色の関

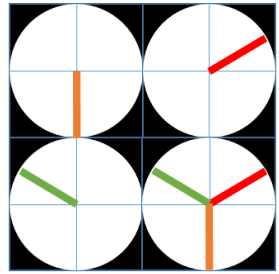
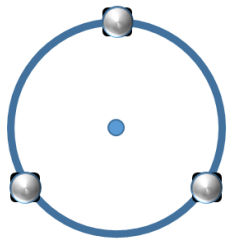
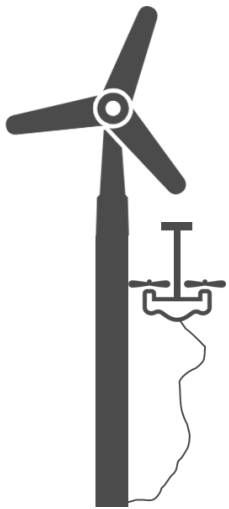


WebブラウザからMQTT通信によるNAT越え

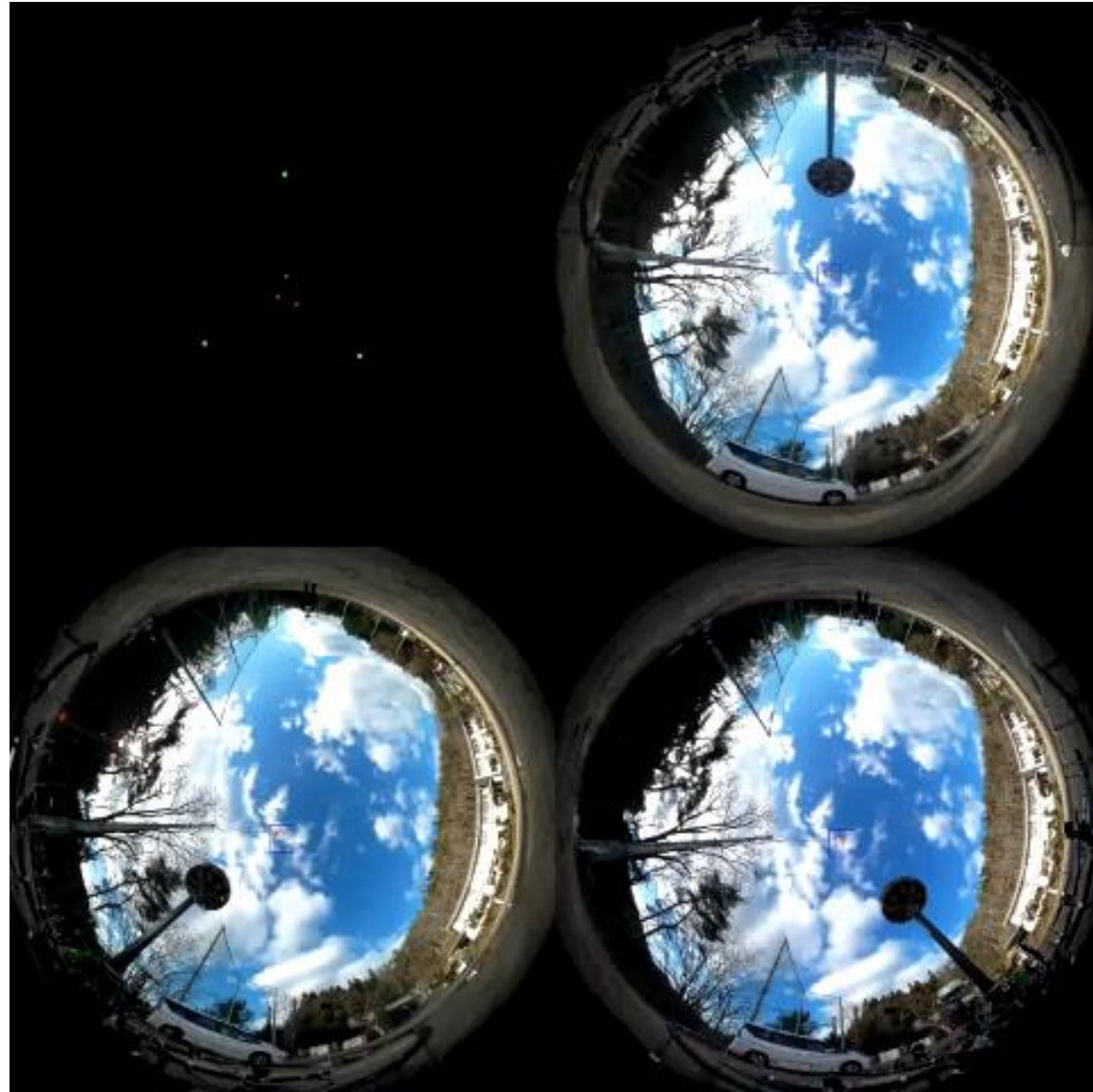


デジタル田園都市とロボット

- 『風力発電点検のドローンによる自動化・省力化』
 - 3台の魚眼カメラから風車ブレード先端を追跡し、受光中心からの距離を算出するアルゴリズムを開発。



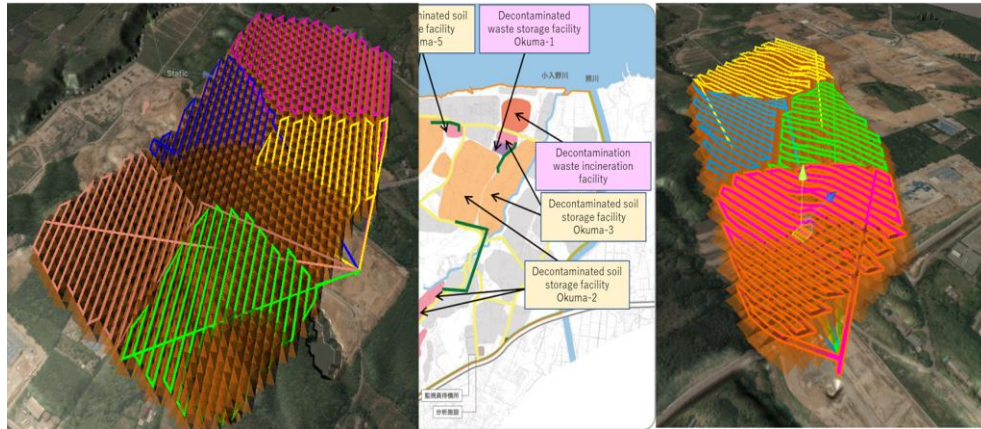
- 沿直下から刃先まで自動制御
 - 3台の魚眼カメラによるトモグラフィ
 - グラブカットとテンプレートマッチング
- 将来的には 風力発電機のブレードの接地状態を自律的に検査するシステムを構築する。



次世代空モビリティの運航管理

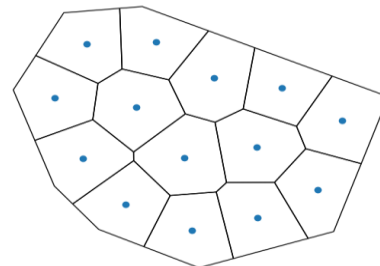
• 多体ロボット運用のためのパス計画

Shooting Time: 1s, Drone Speed 10m/s, Total Flight Time 16.8,
FoV 83° x61°, Height 30m, Overlap 50%



	四角格子	三角格子																																																		
30%	<table border="1"> <tr><td>4</td><td>2</td><td>4</td></tr> <tr><td>2</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>4</td><td>2</td><td>4</td></tr> </table>	4	2	4	2	1	2	4	2	4	<table border="1"> <tr><td>3</td><td>3</td><td>3</td></tr> <tr><td>2</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>3</td><td>3</td><td>3</td></tr> </table>	3	3	3	2	1	2	3	3	3																																
4	2	4																																																		
2	1	2																																																		
4	2	4																																																		
3	3	3																																																		
2	1	2																																																		
3	3	3																																																		
60%	<table border="1"> <tr><td>9</td><td>6</td><td>9</td><td>6</td><td>9</td></tr> <tr><td>6</td><td>4</td><td>6</td><td>4</td><td>6</td></tr> <tr><td>9</td><td>6</td><td>9</td><td>6</td><td>9</td></tr> <tr><td>6</td><td>4</td><td>6</td><td>4</td><td>6</td></tr> <tr><td>9</td><td>6</td><td>9</td><td>6</td><td>9</td></tr> </table>	9	6	9	6	9	6	4	6	4	6	9	6	9	6	9	6	4	6	4	6	9	6	9	6	9	<table border="1"> <tr><td>8</td><td>6</td><td>8</td><td>6</td><td>8</td></tr> <tr><td>5</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td></tr> <tr><td>7</td><td>6</td><td>7</td><td>6</td><td>7</td></tr> <tr><td>5</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td></tr> <tr><td>8</td><td>6</td><td>8</td><td>6</td><td>8</td></tr> </table>	8	6	8	6	8	5	5	5	5	5	7	6	7	6	7	5	5	5	5	5	8	6	8	6	8
9	6	9	6	9																																																
6	4	6	4	6																																																
9	6	9	6	9																																																
6	4	6	4	6																																																
9	6	9	6	9																																																
8	6	8	6	8																																																
5	5	5	5	5																																																
7	6	7	6	7																																																
5	5	5	5	5																																																
8	6	8	6	8																																																

Comparison of the distribution of the number of overlaps between square and triangular lattices



Example of equal area partitioning by centroidal Voronoi tessellation

• To establish platooning of multiple autonomous rovers

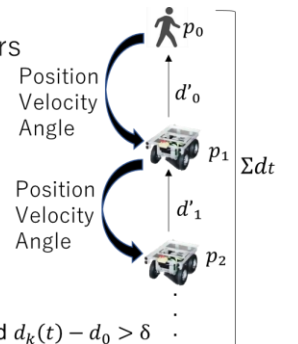
n : Node number (0 = person, $1 < N$: rover), t : time,

d_0 : Setting of separation distance, δ : margin of waypoint,

ϵ : minimum velocity of movement judgement

$p_n(t)$: n -th node position, $v_n(t)$: n -th node velocity,

$d_n(t)$: Route distance from node n to $n - 1$,



$$- \text{Condition of velocity of node } t: v_k = \begin{cases} (d_k/d_0)v_{k-1}(t) & \text{if } v_{k-1}(t) > \epsilon \\ v_k(t-1) & \text{if } v_{k-1}(t) < \epsilon \text{ and } d_k(t) - d_0 > \delta \\ 0 & \text{if } v_{k-1}(t) < \epsilon \text{ and } d_k(t) - d_0 < \delta \end{cases}$$

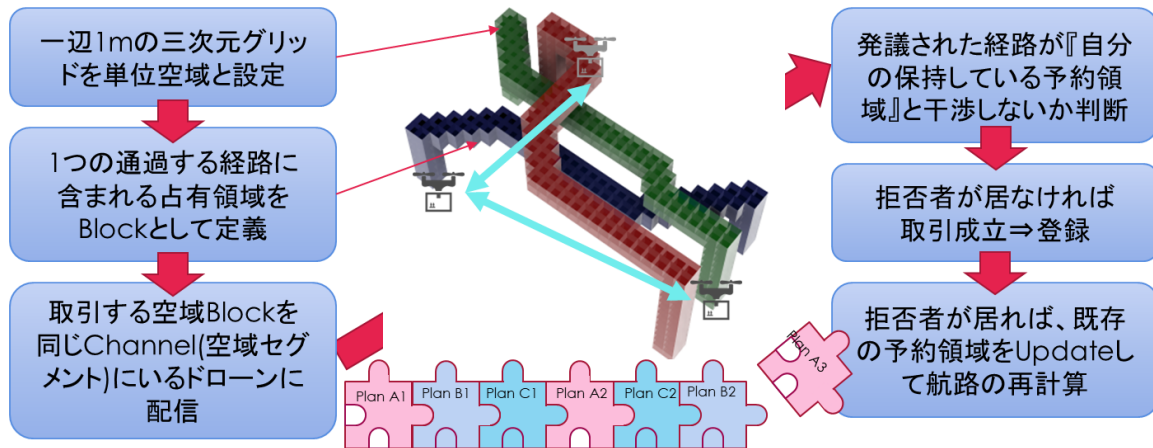
- Calculation for road distance $d_n(t)$: Summation waypoints Euclid distance from $p_n(t)$ to $p_{n-1}(t)$



次世代空モビリティの運行管理

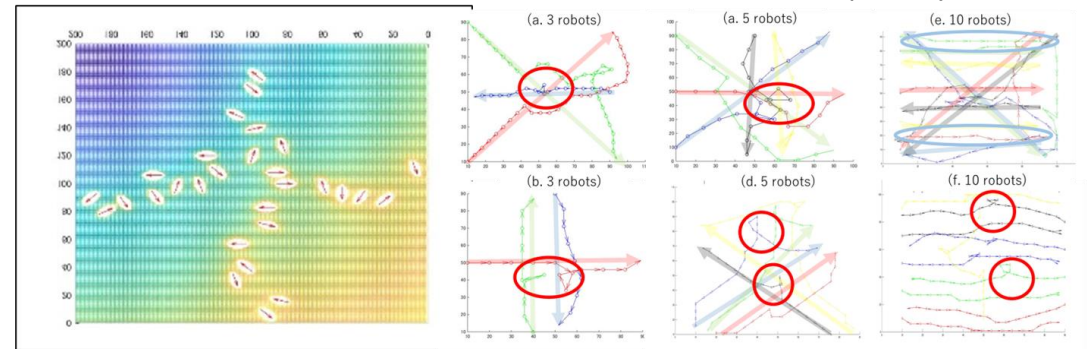
分散UTMの研究

- UTMの静態管理（予約） = Blockchainによる台帳
- UTMの動態管理（回避） = 協調DAAによる動的な経路変更とCross Chainによる管理



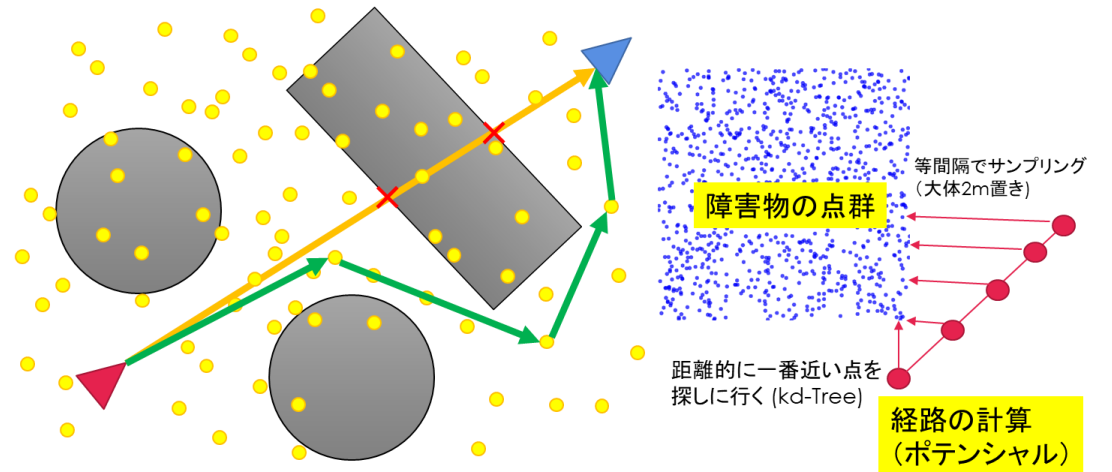
Yuichi Yaguchi and Takuya Wakazono, "Flight Plan Management System for Unmanned Aircraft Vehicles Using Blockchain," ICUAS 2021

- コンセプト: 『周りに声を掛け合いながら注意して飛ぶ』
 - よけ方の方法: Potential Field + A* Path Planning
 - 声かけの方法: 920MHz LoRa Based Broadcast (<2km)



Yuichi Yaguchi and Kyota Tamagawa, "A waypoint navigation method with collision avoidance using an artificial potential method on random priority," Artificial Life and Robotics 25(2) 278-285

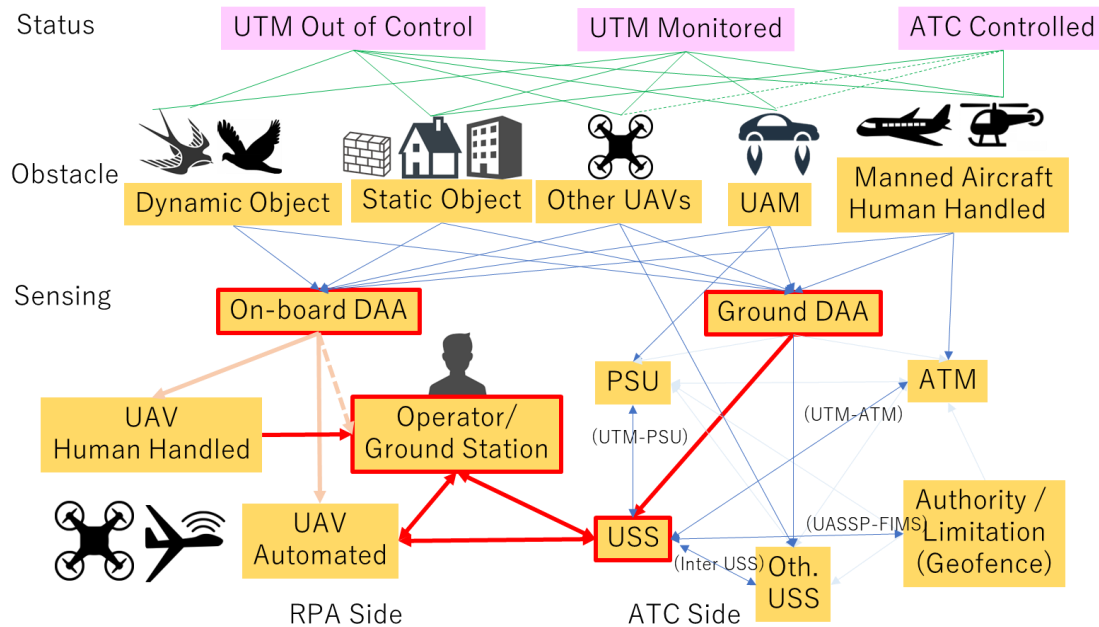
- コンセプト: 『衝突しそうなところは避けて飛ぶ最適経路の計算』



特願2020-185960号「複数ロボットの経路自動生成方法」

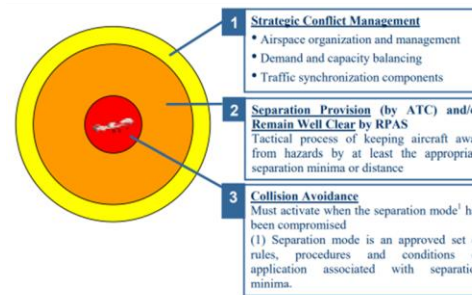
次世代空モビリティの運行管理

- UTMに関する標準化活動 (JUTM, ISO)
 - Conflict Managementに関する調査とUTM-DAA間のメッセージの定義の検討
 - USP間、USP-ATM間のメッセージの定義の検討



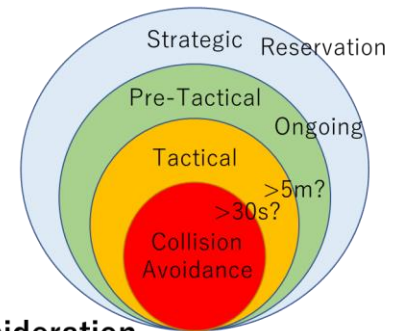
Management Layer

ICAO Definition



DI Gerhard LIPPITSH, Detect and Avoid, ICAO RPAS Symposium, 23-25 March 2015.

Modified - Proposal



NASA Consideration

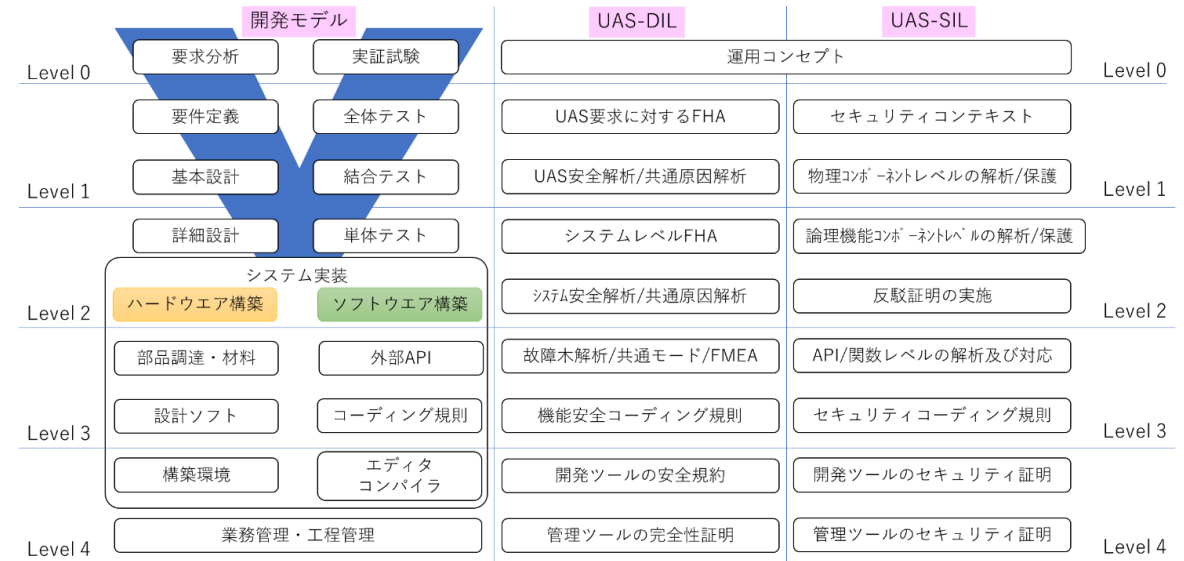


Figure 13: Example of separation strategy including USS Services and UAS capabilities.

次世代空モビリティのセキュリティ

• 耐空性セキュリティ

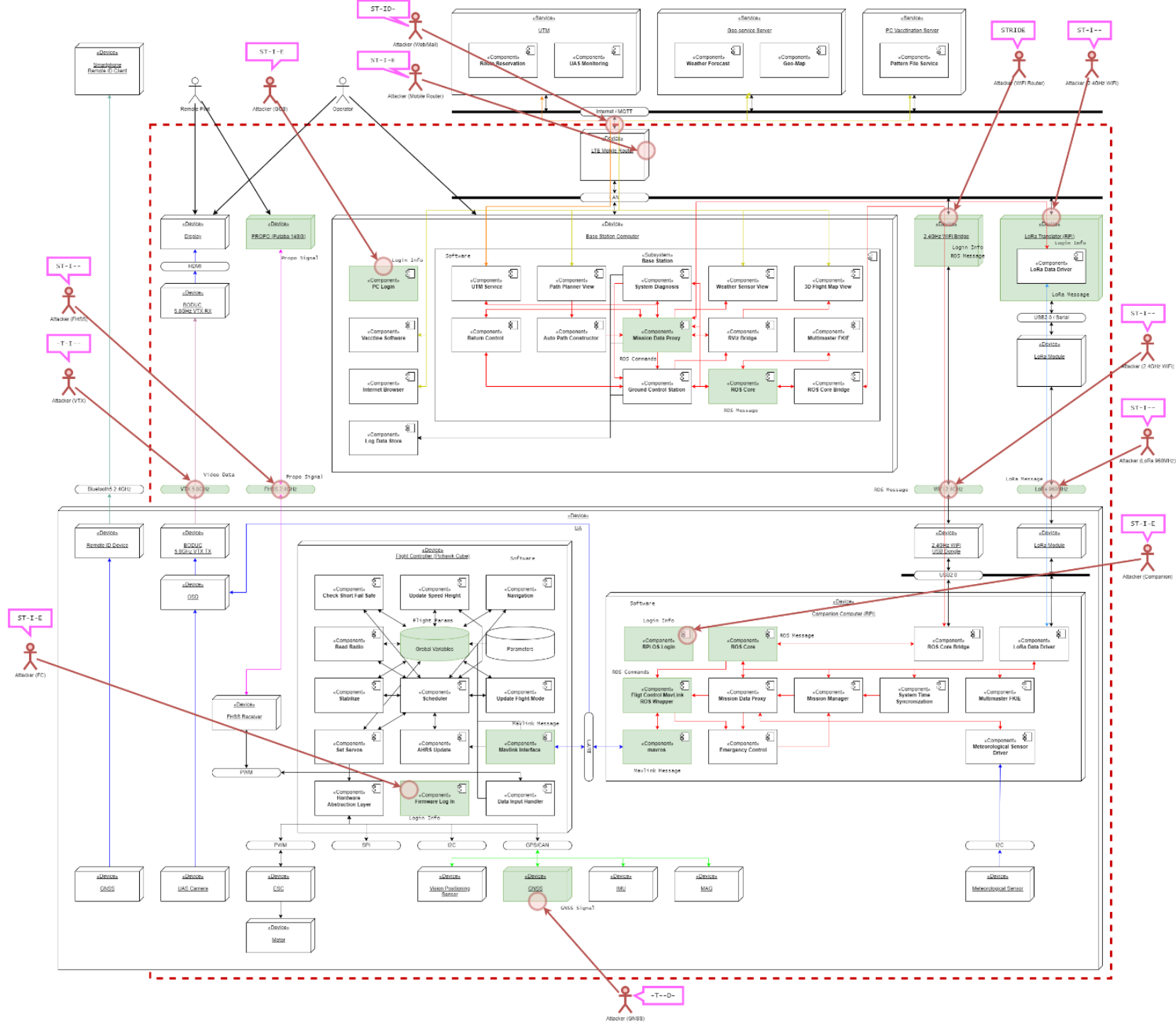
- 情報セキュリティではなく、『UAS』が空を飛び続けるためのセキュリティ = 安全に寄与
- どのように担保するか？ = 設計プロセスから導出される点検項目の機械的な構築手法を提案
 - 一般的に、設計図を作ることも相当なコスト→リスクベースの判断を用いて、『どこまでドキュメントを担保するか、点検項目を担保するか』を規定



Usecase = SORA v2	Assurance Level [AL] (保障レベル) = Severity				
	No Effect (PFD: N/A)	Minor (PFD>10 ⁻⁵)	Major (PFD≤10 ⁻⁵)	Hazardous (PFD≤10 ⁻⁷)	Catastrophic (PFD≤10 ⁻⁹)
GRL > 6 (Cat. 3 High)	1	3	4	5	5
GRL ≤ 6 (Cat. 3 Mid)	1	2	3	4	5
GRL ≤ 4 (Cat. 3 Low)	1	2	2	3	4
GRL ≤ 2 (Cat. 2)	1	1	2	2	2 (3)

次世代空モビリティのセキュリティ

- 論理機能コンポーネントレベルの一例 (Level 2)
 - 複雑に絡むコンポーネントのデータフロー、攻撃ベクタ、STRIDE解析による『侵入から攻撃』までの経路解析を行う。



まとめと今後について

- CPSの実装→デジタル田園都市への寄与が可能
 - しかし、その多くは『運用コンセプト』からの計画が必要
 - また、実験的なシステムの実装が出来ても、『社会実装』までは遠い
 - 標準化活動及び仕組みづくりが必要
- 今後について
 - 実験的な実装による『ボトムアップ型』の社会実装と
 - 標準化活動等による仕組みづくりによる『トップダウン型』の社会実装の両輪を回す活動を行う。
 - 次期DRESS PROJECT、ISOやICAO, ASTM, GUTMA等の国際的な標準化団体での活動を行っていききたい。